

南極周回気球 (PPB) におけるマルチ ID
アルゴスシステムを用いたデータ伝送藤井良一^{1*}・小野一彦²・太田茂雄³Data Transfer System Using a Multi-ID ARGOS Transmitter
for the Antarctic Polar Patrol Balloon ExperimentRyoichi FUJII^{1*}, Kazuhiko ONO² and Shigeo OHTA³

Abstract: A newly developed multi-ID ARGOS data transfer system for the Polar Patrol Balloon experiment (1990–1993) is described. This system on board the PPBs with a main processor continuously transferred data of about 2 kByte/h with great reliability during the entire observation periods (longer than one month). This brief report describes the principle and specifications of the system.

要旨: 南極周回気球 (PPB) は、実験期間の大半を昭和基地テレメトリー視野外で飛ばすため、通常のテレメトリー方式では、長時間にわたる観測データを連続的に安定して得ることができない。第 32 次観測隊から開始された PPB 実験では、マイクロプロセッサと共に、一つのアルゴス送信機に複数の ID 番号を持たせる方式を開発し、1 時間に 2 k バイト程度のデータを、飛ばす期間中連続的に安定して得ることができるようになった。本論文では、このマルチ ID アルゴスシステムの方式と構成について述べる。

1. PPB 実験の経緯

1991 年より 3 カ年計画で南極周回気球 (ポーラーハトロール気球: 以下 PPB と略す) 実験が開始された。PPB 計画は宇宙科学研究所気球工学部門でその実現性の検討がなされ、国立極地研究所に提案されたものであり (NAGATA *et al.*, 1985; NISHIMURA *et al.*, 1985), 1984 年から、国立極地研究所内に、宇宙科学研究所、極地研究所はもとより、全国の研究者が集まりワーキンググループが組織され、準備が開始された。これは 5 年にわたる計画で、

¹ 国立極地研究所。National Institute of Polar Research, 9-10, Kaga 1-chome, Itabashi-ku, Tokyo 173.

* Present address: 名古屋大学太陽地球環境研究所。Solar-Terrestrial Environment Laboratory, Nagoya University, Chikusa-ku, Nagoya 464-01.

² 東洋通信機株式会社移動無線部。Toyo Communication Equipment Co., Ltd., 2-1-1, Kotani, Samukawa-cho, Koza-gun 253-01.

³ 宇宙科学研究所気球工学部門。Institute of Space and Astronautical Science, 1-1, Yunodai 3-chome, Sagamihara 229.

その間、様々な機器の開発・試験、放球・受信設備の整備、南極域の上層大気の風系・放射環境の研究等が行われた。

この開発期間中には、大気放射環境の観測・開発機器のチェック等を目的として、予備放球実験が第 28 次観測隊で 2 回、第 30 次観測隊で 1 回実施された。これらの予備飛しょう実験では、南極大陸の完全周回は果たせなかったものの、風系、大気放射環境に関する貴重なデータが得られた。この期間中搭載された機器は、高度を保持するための精密気圧計を用いたオートバラスト装置、放射計、コマンド受信器、1.6 GHz 帯テレメトリー送信器、通常のアルゴス送信機であった。電源はリチウム電池を用いた（第 28 次観測隊では、太陽電池のテストも行った）。

以上のように、PPB 実験に必要な様々な機器の開発、設備の整備、第 28、30 次観測隊での飛しょう実験から、完全周回と観測機器を搭載した本実験が可能であると判断され、第 32 次観測隊より 3 カ年計画で PPB 実験が開始された（藤井ら、1989）。

2. 本実験のための基本機器の開発

本実験の予備実験と異なる点は、予備実験においては、計測される物理量が、放射温度、ゴンドラ各所の温度、電圧、バラスト投下回数、気圧等比較的サンプリング間隔が長くても良いものが主であったのに対し、本実験ではサンプリング間隔の短い観測が実施されること、そのため大量のデータ取得が必要であることにある。PPB はその飛しょう時間の大半が地上基地のテレメトリーの視野外であるため、大量データを取得するデータ伝送系及びデータを処理・ストアするためのオンボードのプロセッサを採用する必要性が生じた。

テレメトリーの視野外での大量データの取得については、当初からデータレコーダーを搭載し、PPB が昭和基地に回帰してきた時に再生・ダウンリンクする方法が検討されてきた。実際開発の準備期間中には、低電力消費・軽量のデータレコーダーが開発され、南極の地上基地でテストされてきた。しかし、データレコーダーは大量のデータを記録できる利点はあるものの、PPB 自体が昭和基地のテレメトリーの視野内に戻ってこない時は、データ全部を失うことになるので、それだけに頼ることは危険であった。信頼性を向上するために、南極半島等の外国基地でも再生受信を行うことも検討されたが、外国基地での設備設営、人員派遣、予算等の問題から実現が困難であった。

国内・南極でも十分使用され、極めて信頼性の高いアルゴスによるデータ伝送システムは、気球と、アルゴスが使用している NOAA 衛星が会合している間だけしか、データの受け渡しができないこと、またその会合があらかじめ予想できないこと、結果として、1 時間に 10~20 分間、50~200 秒間隔で各々 32 バイト程度のデータしか得られないことから、本実験の観測機器が要求する連続した速いデータサンプリングを満足することは無理であった。そのため、当初、温度・気圧、観測等のデータを、データレコーダーの補助として伝送する

ことが計画されていた。

この問題を解決する一つの方法として考えられたのが、ハードウェアとしては一つのアルゴス送信機に複数の ID を持たせ、あたかも多数の送信機を搭載するのと同等のデータ量を確保する方式である。従来は、アルゴス送信機一式に対し、一つの ID のみを持つことが許されていたが、フランスのサービスアルゴスの配慮により、複数 ID を持つことが許された。この方式を用いれば、極域では 1 時間当たり最大約 10 k バイトのデータを安定して得ることができる。なおこのデータ量は 1 秒に約 3 バイトのデータを得ることに相当する。

本報告では、この第 32 次観測隊から新たに開発採用された、複数 ID を用いたアルゴスデータ伝送について述べる。搭載プロセッサについては別途報告する。

3. 原 理

アルゴス/NOAA と PPB の会合は、時間は特定できないが、過去の PPB 予備実験の結果から約 1 時間に 1 回である。1987 年第 28 次観測隊で行われた 2 回の飛しょう実験では、各々 116 時間で 134 回 (1 回当たり 52 分)、358 時間で 371 回 (58 分) であった。以下、PPB は 1 時間 (以内) に 1 回 NOAA と会合するとして話を進める。万一その時間内に会合が無かった場合は、以下の記述で分かるようにデータロスとなるが、それは許容することにした。

PPB と NOAA との会合は、気球の軌跡があらかじめ確定しないため、予期できないことは上に述べたが、高い確率で 1 時間に 1 回最低 10 分間は会合する。今例として、一つのアルゴス送信機に 20 個 (N 個) の ID をアサインし、各々の ID は 200 秒 (T 秒) に 1 回 32 バイト (=256 ビット) のデータを送出する場合を考える。

まず、PPB に搭載した主プロセッサ A では、常時データ集録を行っている。集録開始から時刻を 1 時間ごとに区切り、ある 1 時間内に取得されたデータは主プロセッサ A のメモリー内に蓄えられる。1 時間分のデータ (M バイト) が蓄えられた時点で、主プロセッサ A のメモリー内に蓄えられたデータは、RS232C のシリアルラインを経由して、アルゴス側のプロセッサ B のメモリーに一括転送される。その直後主プロセッサ A のメモリーには次の 1 時間のデータの書き込みが開始される (図 1)。

一方アルゴス側は、1 時間の開始信号と同時に、その時点より 1 時間前から、その時点までの全データを受け取り、データの頭 (一番古い時刻のデータ) から最後のデータ (最新のデータに対応) までを、1 回の送信容量である 32 バイトずつに分けて、順番に異なる ID に載せて送出的。このシーケンスを図 2 に示す。

ある特定の 1 時間について図 2 に従い説明を行う。まず 10 分以内に全データを送出しなければならない。10 分間に各 ID が送出される回数は $600\text{ s}/200\text{ s}=3$ 回 ($600/T$ 回) である。一つの ID と次の ID が送出される間隔は $\Delta T=200\text{ s}/20\text{ 個}=10\text{ s}$ ($T/N\text{s}$) となる。送信機側

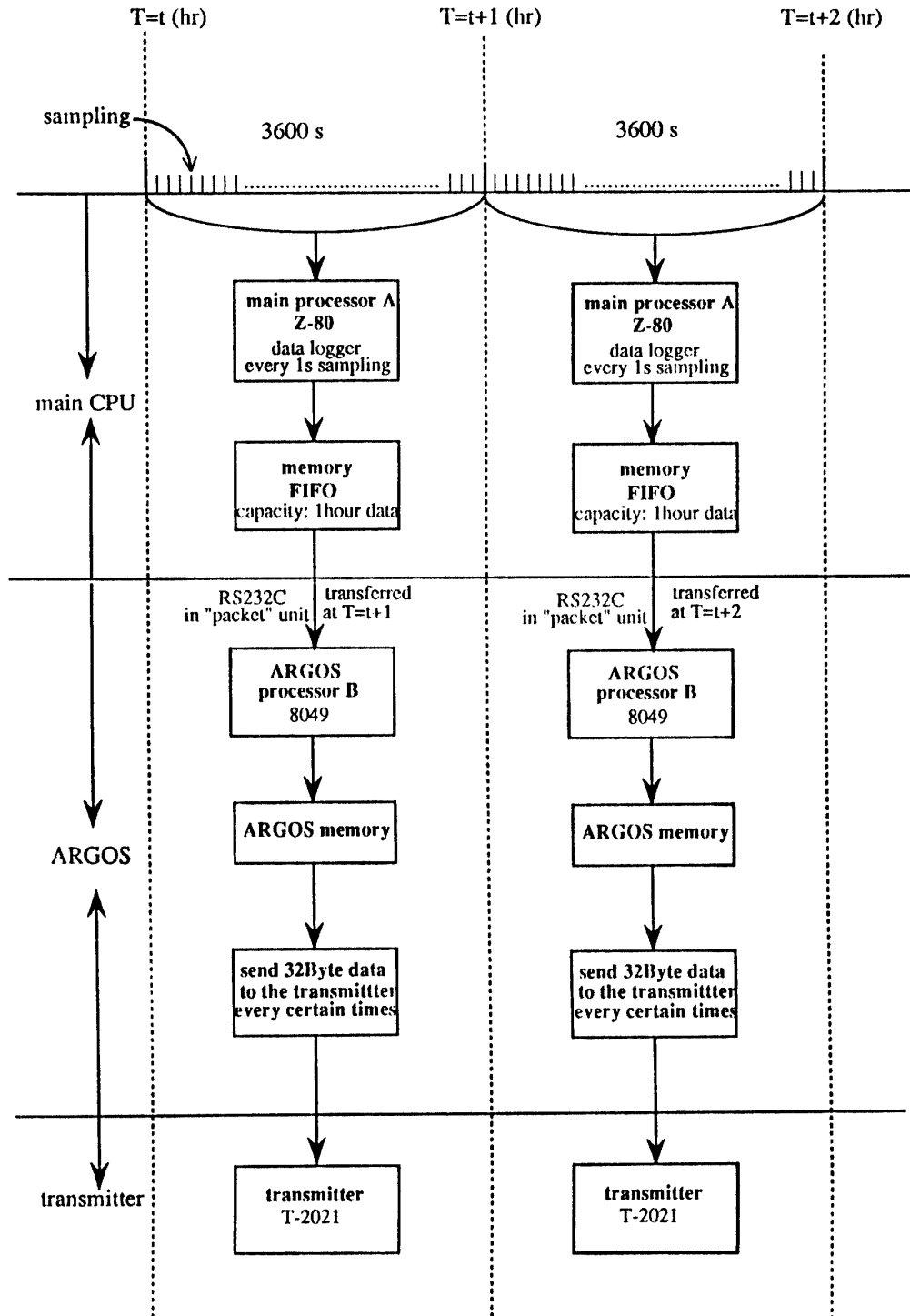


図 1 PPB 搭載主 CPU によるデータ集録と複数 ID アルゴスシステムによるデータ取得

Fig. 1. Data recording and transfer system using the main CPU and the multi-ID ARGOS transmitter on board the Polar Patrol Balloon (PPB).

は送信に約 1 s, 予熱に約 1 s かかるので T/N は 2 s 以上であることが条件となる。(原理的に言えば (電力, 熱条件, アルゴス使用料金を考慮しなければ) $T=200$ s の時, ID 数 N は 100 個まで取り得る.)

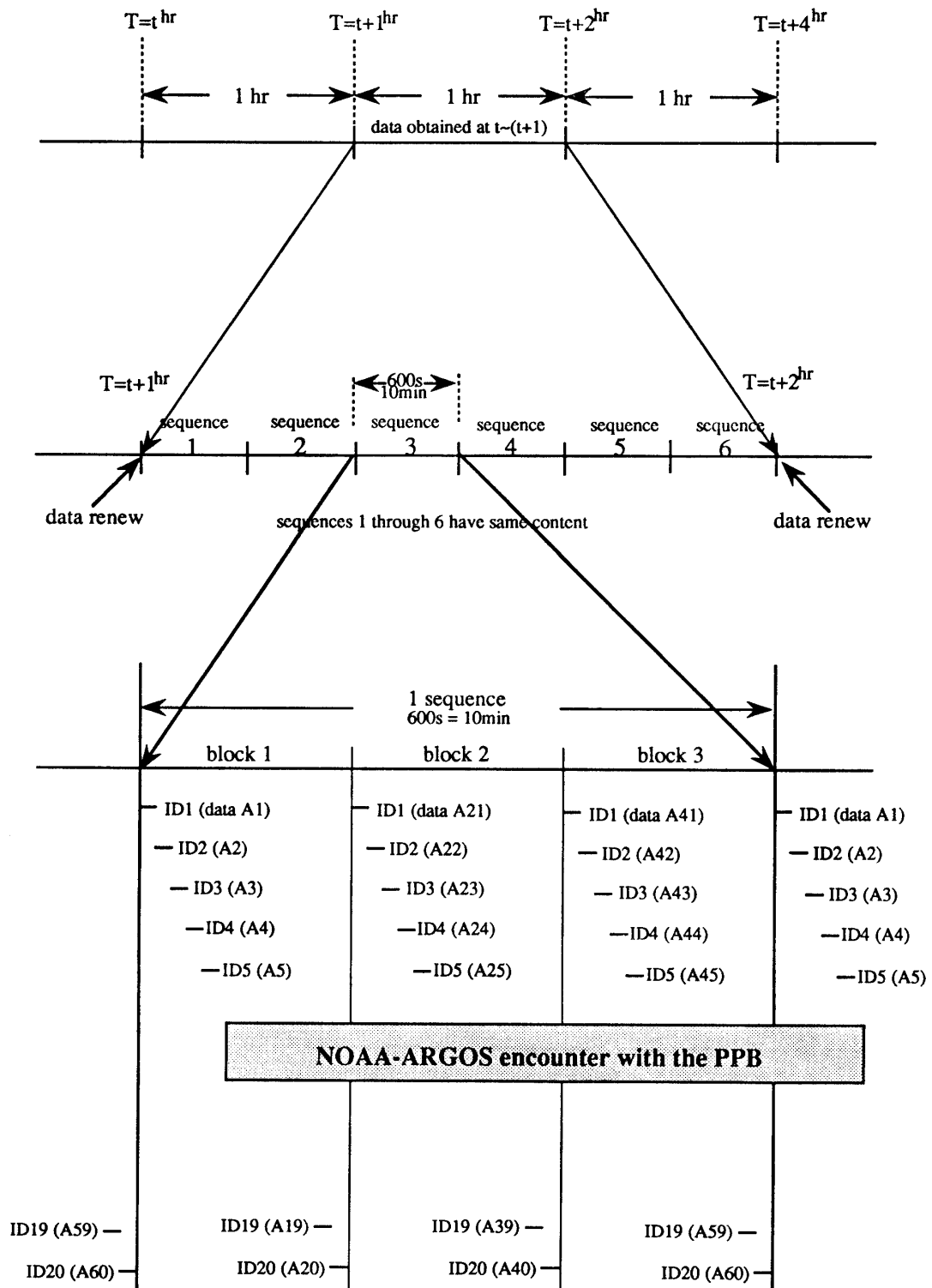


図 2 複数 ID アルゴシステムによるデータ送信の概念図
 Fig. 2. Diagram of the data transfer of the multi-ID ARGOS system.

ある 1 時間の頭 (主プロセッサ A からプロセッサ B にデータが転送された時点) から 32 バイトごとに分割されたデータセグメント $A^1, A^2, \dots, A^{20} (A^N)$ は ΔT の間隔で, 順番に $ID^1, ID^2, \dots, ID^{20} (ID^N)$ まで送出される (これを 1 データブロックと呼ぶ). これにかかる時

間は 200 s ($T\text{s}$) で、これで送出されるのは、1 時間分全データの $1/3(T/600)$ である。次の $200\text{ s}(T\text{s})$ 間も同じように ID^1 から $ID^{20}(ID^N)$ まで順番に送出されるが、それに載せられるデータは A^{21} から $A^{40}(A^{2N})$ までの 20 個 (N 個), 1 ブロックである。その次の 200 s も同様で、データ A^{41} から $A^{60}(A^{3N})$ までの 1 ブロックが送出される。一般の場合はこれが $600/T$ 回行われ、 $600/T$ ブロックが送出される。これで前の 1 時間分のデータは全部送出されたことになる。このシーケンスは 1 回 600 s なので、1 時間内に 6 回繰り返す。1 シーケンス内で一つの ID は異なる時間のデータを 3 回 ($600/T$ 回) 送出するが、各々のセグメントデータは主プロセッサ A で、時刻カウンター (3 バイト=24 ビット) が付加されているので、混同することはない。

実際の場合、この特定の 1 時間内に、NOAA は 10 分間 PPB と遭遇するが、図 2 に示したように、この会合は各ブロック及びシーケンスとは全く非同期である。この例では、 $A^1 \sim A^5$ は、時刻的には後に観測された A^{60} の後に、NOAA 衛星には受信される。しかし、上記のように、各セグメントには、1 s のタイムカウンターが付いているので、データ処理の段階で、時系列に並べ直すことが可能である。

このシステムで送信できるデータ量は、 T 及び N により異なり、 $600 N/T \times 32$ バイト、ただし、 $N/T > 2\text{ s}$ 及び $T < 600\text{ s}$ である。最大は 9.6 k バイトとなる。第 1 回の第 32 次観測隊の PPB 実験の 1, 2 号機では、576 s を 1 シーケンスとし、 $T=192\text{ s}$, $N=21$ と設定され、1 時間当たり 2016 バイトが、また越冬中に実施された 3 号機では、 $T=192\text{ s}$, $N=6$ と設定され 1 時間当たり 576 バイトのデータが取得された。

4. 複数 ID アルゴシステムの構成

本システムの構成図を図 3 に示す。システムは通常の T-2021 アルゴ部 (タイマー部、連続送信制御部、超高安定発振器、PCM-PSK 変調通倍器、UHF 電力増幅部、及び電源部) と、RS232C インターフェイス (X-2294) 部とに分けることができる。通常のアルゴ部には、X-2294 のプロセッサ 8049 とインターフェイスされる 8049 プロセッサがあり、ID ROM 中の ID を付加してデータセグメントを送信機に送出している。

X-2294 インターフェイス部には、主プロセッサ A (CPU: Z-80) とデータ及びステータス信号のやりとりを行う RS232C インターフェイス、8049 プロセッサ、及び主プロセッサから送られてきた 1 時間分のデータ (第 32 次観測隊実験では、最大 2 k バイト程度) を、収納する 8 k バイトのメモリー (RAM) とから構成されている。

X-2294 インターフェイスは、T-2021 アルゴ送信機からの電源立ち上げ信号で電源が送信 2 秒前に入る。アルゴ CPU に電源が入り、メイン CPU から RS232C を通して、データレディ (DTR: メイン CPU 側で 1 時間分のデータが貯えられ、アルゴ側にそれらを転送可能という信号) が与えられると、アルゴ CPU は、アルゴの内部メモリーを書換え、

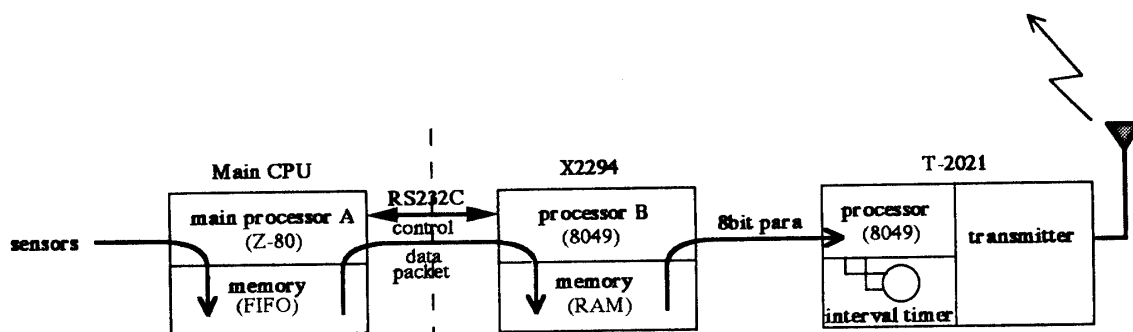
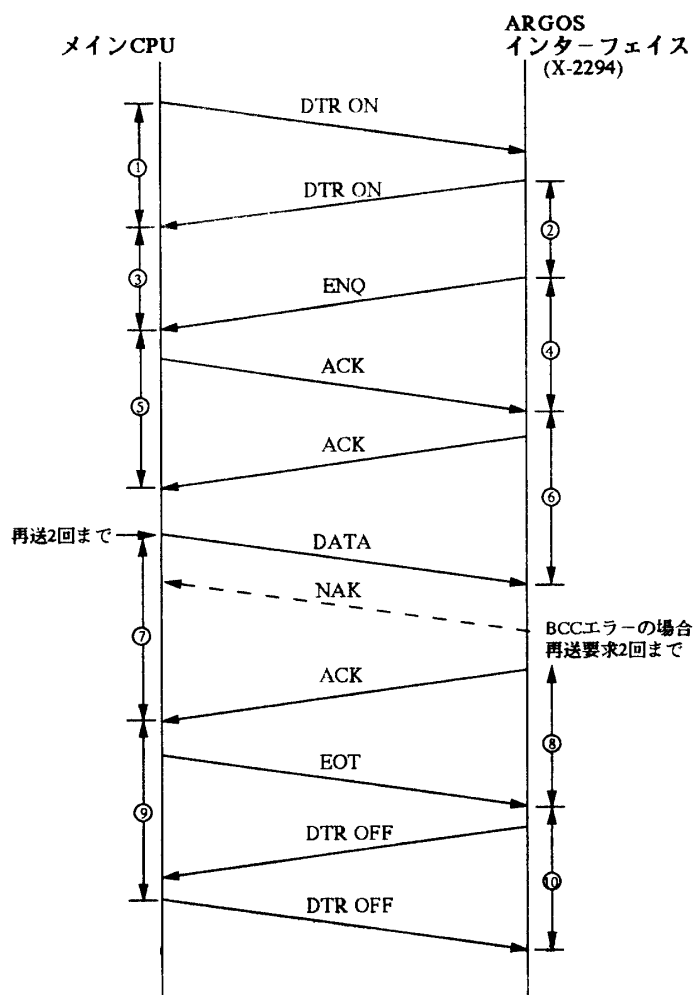


図 3 複数 ID アルゴスシステムのハードウェア構成

Fig. 3. Hardware of the multi-ID ARGOS system.

送信機側にデータを転送する。同時に、送信機からの電源立ち上がりパルスをカウントして、あらかじめ登録されている ID 番号を選別し、データと同時に送信機側に転送する。T-2021 送信機側では、X-2294 インターフェイスから送られてきた ID 番号とデータを指定のフォーマットに並び替えて、送信機から出力する。送信終了後は、インターバルタイマーを除きすべての電源を断とし、次の電源立ち上がり信号を待つ。

図 4
Fig. 4.

X-2294 インターフェイス部と主プロセッサ A の間には、標準的なプロトコルが定められ、両系のスタンバイ状況を双方で監視しあいながら、データの受け渡しを行っている (図 4). 全システムの中で主プロセッサ A が最重要であり、周辺機器のいかなる状況でも、主プロセッサ A をハングアップさせないよう、本インターフェイスでもプロトコル手順が考慮されている。また、実際主プロセッサからアルゴス側に引き渡されるデータは、上記のセグメント、ブロックという概念的単位ではなく、248 バイトからなるパケットが単位となっている。第 32 次観測隊の実験では、8 パケットが 1 時間分のデータ総量に対応している。このパケットは、244 バイトの観測データのほかに、あらかじめ決められたパケットの

図 4 (左頁) メイン CPU と複数 ID アルゴス間のデータ転送プロトコル手順
Fig. 4 (opposite). Procedure of the data transfer between the main CPU and the multi-ID ARGOS system.

- ① メイン CPU 側でアルゴスに転送するデータの準備が完了したならば、データレディ (DTR) をアクティブにしてアルゴスインターフェイス X-2294 にデータ準備完了を知らせる。DTR 出力時間はアルゴス CPU が少なくとも (32 次実験では) 約 10 秒に 1 回電源 ON になることを考慮し最大 14 s 出力する。
- ② アルゴス側は、DTR アクティブを検出すると DTR (データ送信要求) をアクティブとする。
- ③ メイン CPU 側は、アルゴス側からの DTR を検出してから 1 秒後に ENQ 信号がくるのを待ち、ENQ 信号が来たならば、ACK 信号を出力する。メイン CPU 側は最大 4 s 間 ENQ 信号が来るのを待つ。
- ④ アルゴス側は、上記③のように 1 s 後に ENQ 信号をメイン CPU 側に送出し、メインからの ACK を待つ。1 s 経っても ACK がこない時は、再度 ENQ をメイン側に送出する。この再送は 2 回まで行う。計 3 回 ENQ を出力しても、各 ENQ の 1 s 後にメインからの ACK が検出できない場合は、転送は中止する。
- ⑤ メイン CPU はアルゴス側からの (メインからの ACK を受けたという) ACK を待つ。最大待ち時間 2 s。
- ⑥ アルゴス側は、メイン CPU からの ACK を検出したら、⑤に述べた様に、ACK をメイン側に返し、データパケット 1 が送られて来るのを待つ。最大待ち時間 2 s。
- ⑦ メイン CPU は、アルゴスからの ACK を検出したならば、データパケット 1 をアルゴス側に送出し、アルゴス側からの ACK (正常に受け取った) か NAK (正常には受け取れなかった) 信号を待つ。もし ACK が送り返されてきた場合は、次のデータパケットを送出し、NAK が送り返されてきた場合はもう一度データパケットを送出する (2 回まで再送)。2 回まで再送しても ACK が返ってこない場合は、次のデータパケットを送る。以上の動作を繰り返しすべてのパケット (32 次では 8 パケット) を送出する。なおデータを転送し、2 秒以上 ACK も NAK もアルゴス側から返って来ない場合は、転送を中断する。
- ⑧ アルゴス側は、送られて来たデータパケットをステータスやパリティ等でチェックし、エラーがなければ ACK を、エラーがあれば NAK を 3 回までメイン CPU に送出する。コマンドを送出し、メインから 2 s 以上応答がなければ、中断し、転送プログラムを抜ける。
- ⑨ 8 パケット全部を転送し、ACK または 3 回目の NAK を検出したら、EOT を出力して、DTR をオフする。
- ⑩ アルゴス側は、EOT を検出したならば、DTR をオフする。この最後の双方の DTR オフはお互い確認しあわない。

先頭及び終了コードとパケット内の偶数パリティコードが付加されており、送られてきたパケットの識別と、データの正否を判別している。もし、何等かの異常が認められた時は、主プロセッサ A に対し、再送を 2 回まで要求するようになっている。2 回以内で正常なパケットが送られてこない時は、転送動作を終了し、次のパケットの転送を行う。その時はアルゴスは、アルゴスのメモリー内に貯えられた古いデータを再度送出するため、データ欠損となる。

5. システム諸元

以下に X-2294 インターフェイス部と T-2021 アルゴス送信機の諸元を挙げる。

X-2294 インターフェイス

入力インターフェイス: RS-232C に準拠

ボーレイト : 9600 ビット/s

CPU : 8 ビット, 80C49CPU

データ語長 : 8 ビット

電源電圧 : DC 10~24 V

消費電流 : 待機時: 9 mA 以下, 動作時: 200 mA 以下

使用温度 : -20~+50°C

保存温度 : -40~+65°C

重 量 : 約 400 g (実際は T-2021 内に実装)

T-2021 アルゴス送信機

通常のアルゴス仕様とほとんど同一である。

ID 番号設定 : ROM 書き込み式

電源電流 : DC+10.5~+24 V

消費電流 : 待機時: 1 mA 以下, 予熱時: 100 mA 以下, 送信時: 700 mA 以下

使用温度 : -20~+50°C

保存温度 : -40~+70°C

外形寸法 : 32×80×230 mm (X-2294 と共に 1 筐体: 115×87×320 mm)

重 量 : 約 500 g

6. 第 32 次観測隊における動作状況

本システムは第 32 次観測隊における 3 回の実験で、いずれも全期間正常に動作し、良好にデータ取得を行うことができた。

ちなみに動作時間は、1 号機が 1990 年 12 月 25 日から 1991 年 2 月 1 日までの 38 日間、

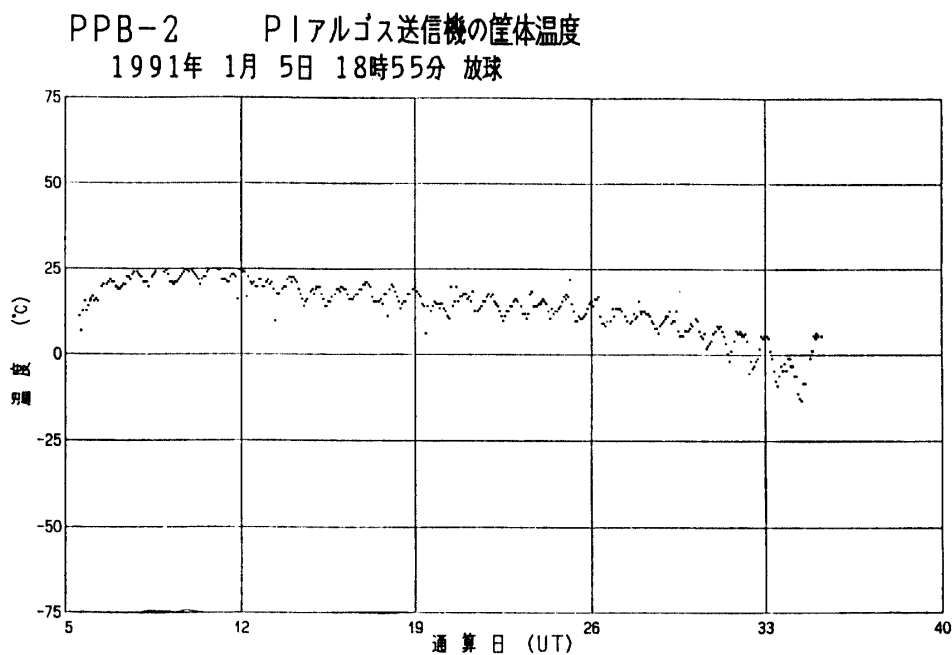
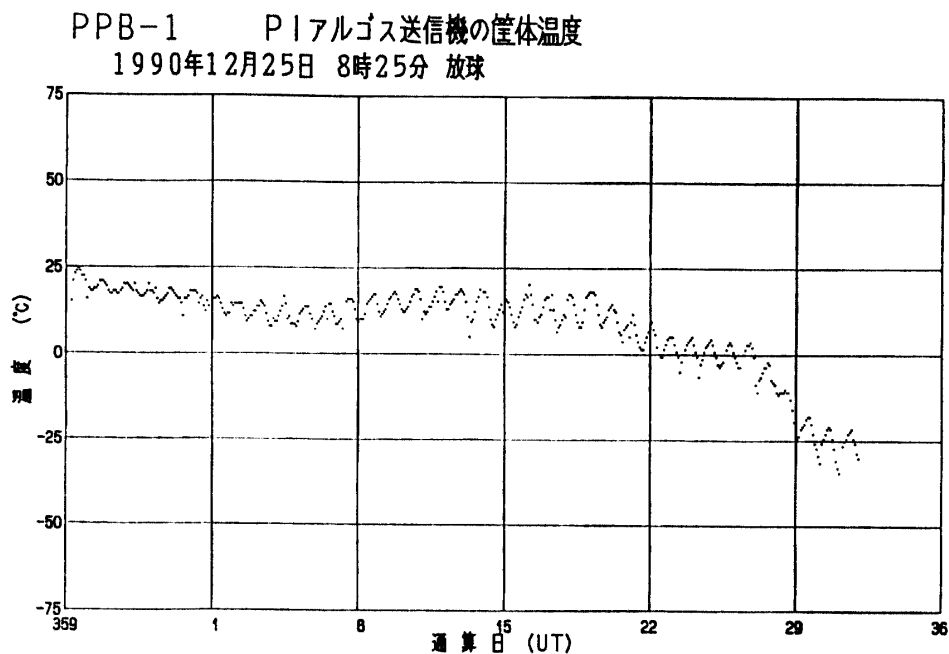
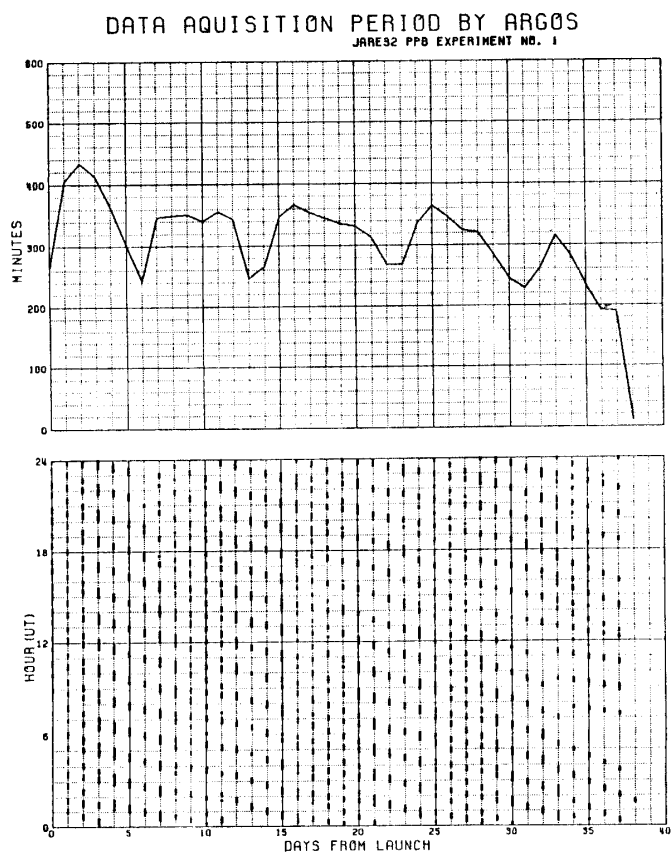


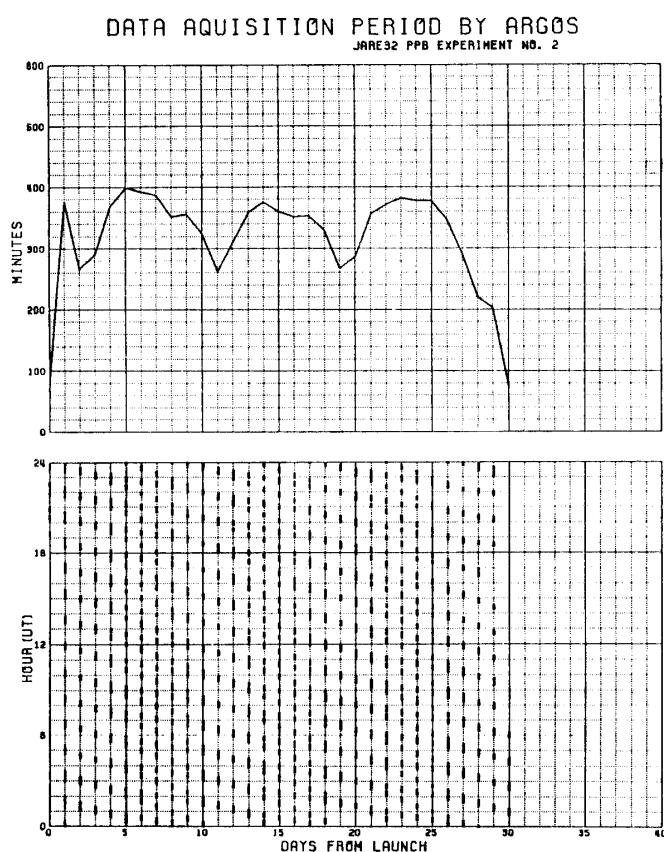
図 5 複数 ID アルゴスの飛しょう中の温度変動 (太田ら, 1992 より転載)
Fig. 5. The temperature variations of the multi-ID ARGOS during the experiments.

2号機が1991年1月5日から2月4日までの30日間, 3号機が, 1991年9月23日から9月28日までの5日間で, いずれも複数IDアルゴス用のリチウム電源が尽きたか, 気球が着氷または着水し, 観測を終了したものである。

動作時における複数IDアルゴスの温度環境を, 夏期の間に実施した1, 2号機について図5(太田ら, 1992)に示す。この期間は中層大気の温度が比較的高く, アルゴス自体の温



(a)



(b)

図 6a,b 1,2号機における PPB とアルゴス/NOAA 衛星との会合状況。上は1日ごとの受信時間, 下に会合期間を示す。

Fig. 6a,b. The number of the encounters between PPB and NOAA satellite, showing the total encounter time per day on the upper panel, and the timing and duration of the encounter on the lower panel.

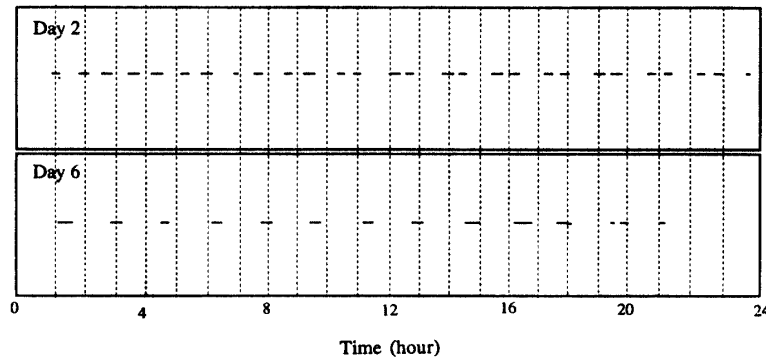


図 7 PPB1 の 2 日目と 6 日目について、スケールを拡大した会合期間を示す。

Fig. 7. An expanded scale of the timing and duration of the encounter of the PPB1 on the second and sixth days.

度も、ほとんどの期間 $0^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{C}$ に保たれたが、実験終了直前は 0°C 以下となった。特に PPB1 は、 -30°C 以下の環境下でも正常に動作したことが分かる。

図 6 a, b に 1, 2 号機に搭載されたアルゴスのデータ受信状況を示す。各図上部は 1 日ごとの総受信時間、下部に受信期間を示す。図から明かなように、このシステムを設計した段階で設定した：1 時間に 1 回は PPB とアルゴス/NOAA 衛星は会合するという仮定を満足する場合と、会合から次の会合までが 100 分前後となる期間が、数日の間隔で交互にあらわれるのが見てとれる。図 7 に前者と後者の例として、12 月 27 日 (Day 2) と 12 月 31 日 (Day 6) について拡大したスケールで受信状況をあらわす。60 分以内に 1 回会合している場合は、安定してデータが送られている期間である。100 分前後の間隔になる場合は、そのまま欠測に結びつくわけではないが、何回かに 1 回は欠測になることは避けられない。今回の 1, 2 号機実験から判断すると、データ欠測を最小限に抑えるためには、会合の可能性を 1

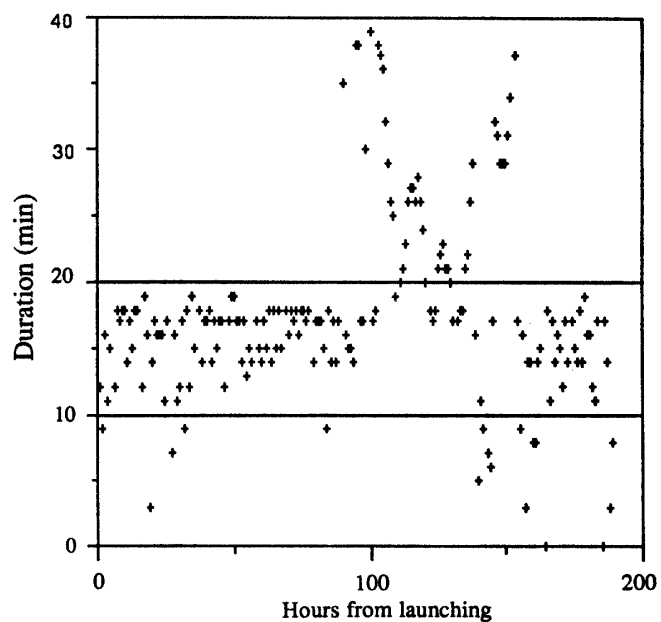


図 8 PPB1 とアルゴス/NOAA との会合継続時間 (放球後 200 時間)

Fig. 8. Distribution of the duration of the encounter of the PPB1 during 200 hours after launching.

時間に 1 回ではなく、**2 時間に 1 回とすることが望ましい。**

図 8 に PPB1 と NOAA の 1 回の会合における交信時間を放球後 200 時間について表す。図から明かなように、交信継続時間は大部分が 10 分以上であり、設計当初に設定した、会合時間は 10 分以上という仮定が正しかったことが分かる。

7. おわりに

今回の実験で使用された複数 ID アルゴスとオンボードの主プロセッサの組み合わせのシステムは、当初設計段階での機能を、3 機の PPB の全飛しょう期間を通して十分満足した。1 時間の総データ量が数 k バイト程度（1 時間に 30～100 バイト程度）の観測であれば、PPB 実験のように、低温・低圧下での長時間（約 1 月）にわたる、信頼性のあるデータ伝送システムを得ることができたと考えて良いと思われる。また、このシステムは、気球実験だけでなく、南極大陸内等の常時人間が滞在できないところでの無人観測にも応用できると思われる。

将来の PPB を含む気球実験を考えると、観測機器側が必要とするデータ転送量は、益々増加することが予想される。今回の方式の複数 ID アルゴスシステムは、現状では、データ転送量に限界（10 k バイト/時間）があることを考えると、このシステムは信頼性の高いベースのシステム（基本計器）とし、このほかに、搭載用のデータレコーダーの低温下における長時間運用の信頼性を高めていくこと、外国基地における再生・受信も併行して採用していく必要があると思われる。

謝 辞

本複数 ID システムの開発を支援して頂いた、東洋通信機、並びに主プロセッサ (CPU) を担当したクリアパルス社、及びサービスアルゴスとの交渉等全般にわたり協力を頂いたキュービックアイ社に謝意を表します。また、図 6 は門倉昭氏の解析結果を使用させて頂きました。

文 献

- 藤井良一・宮岡 宏・門倉 昭・小野高幸・山岸久雄ら (1989): 南極周回気球 (PPB) 将来計画 1991-1993. 南極資料, 33, 320-328.
- NAGATA, T., FUKUNISHI, H., NISHIMURA, J., KODAMA, M. and CO-MEMBERS OF PPB WORKING GROUP (1985): Polar Patrol Balloon Project in Antarctica. Mem. Natl Inst. Polar Res., Spec. Issue, 38, 156-163.
- NISHIMURA, J., KODAMA, M., TSURUDA, K., FUKUNISHI, H. and CO-MEMBERS OF PPB WORKING GROUP (1985): Feasibility studies of "Polar Patrol Balloon". Adv. Space Res., 5, 87-90.
- 太田茂雄ら (1992): 宇宙科学研究所報告大気球特集. 宇宙科学研究所 (投稿中).

(1992 年 7 月 31 日受付; 1992 年 9 月 10 日改訂稿受理)